

## **Desenvolvimento de um modelo para medir a eficiência de empresas terceirizadas no processo de publicações técnicas de peças de reposição de aeronaves**

Angelo José Castro Alves Ferreira Filho, [angelo.ferreira@hotmail.com](mailto:angelo.ferreira@hotmail.com)

Fernando Augusto Silva Marins, [fmarins@feg.unesp.br](mailto:fmarins@feg.unesp.br)

Valério Antonio Pamplona Salomon, [salomon@feg.unesp.br](mailto:salomon@feg.unesp.br)

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Produção, Guaratinguetá, SP, Brasil

\*Recebido: Outubro, 2008 / Aceito: Abril, 2009

### **RESUMO**

*A Terceirização está relacionada com a forma na qual uma organização trata com os seus fornecedores mediante um contrato de negócio, onde uma atividade específica é acordada para ser feita. Assim em todo o processo produtivo é necessário medir o desempenho mesmo sendo uma atividade relacionada a um serviço terceirizado. Este artigo apresenta uma aplicação baseada nos métodos DEA (Data Envelopment Analysis) e AHP (Analytic Hierarchy Process), cujo objetivo é avaliar a eficiência de empresas terceirizadas na indústria aeronáutica, além de propor uma avaliação da relação entre as variáveis de entrada e saída do processo com a medida de eficiência. Os critérios da Qualidade, do Prazo e do Custo, que foram quantificados pelo AHP para a matriz DEA são considerados as saídas do processo (outputs). Já como input é utilizado o número de documentos técnicos recebidos pelas empresas terceirizadas. Os indicadores e critérios foram escolhidos mediante a aplicação de um questionário junto aos especialistas do processo de publicações técnicas de peças de reposição. Os resultados para a medida de eficiência foram obtidos mediante a aplicação do software SIAD. Por fim é apresentada a análise da relação entre a redução no número de saídas, e a variação nos valores de eficiência possibilitando agrupar as empresas passíveis de investimento na melhoria de seus processos.*

**Palavras-Chave:** Indústria Aeronáutica. Eficiência. Terceirização. DEA. AHP.

### **1. INTRODUÇÃO**

A busca pela medida de eficiência e desempenho dos processos produtivos é uma tendência cada vez maior nas empresas e também em diversos órgãos públicos.

Segundo Carvalho (2002), o estudo de desempenho é um problema clássico em todos os tipos de negócios, onde a sua aplicação tem como objetivo medir a condição de eficiência de uma determinada organização ou instituição, e, a partir daí, efetuar um plano de ações para a sua melhoria.

Para Slack (1999) mesmo quando uma operação produtiva é projetada, e suas atividades planejadas e controladas, a tarefa do gestor não está acabada, pois todas as operações são passíveis de melhorias no seu desempenho.

Cabe ao gestor, além da busca por uma medida de desempenho, tomar decisões inerentes a este processo, pois para o funcionamento de uma empresa existem diversos tipos de decisões gerenciais que precisam ser tomadas (Salomon, 2004).

Dessa maneira, no presente artigo a preferência ou opinião do Gestor no processo de medida de eficiência será levada em consideração.

A abordagem deste artigo tem como foco o estudo de caso na indústria aeronáutica, onde será proposto um modelo para medir a eficiência das empresas prestadoras de serviços no processo de publicações técnicas de peças de aeronaves, e o emprego do método DEA (Data Envelopment Analysis) (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978) para determinar esta eficiência. Também é proposto o emprego de um dos métodos de auxílio à decisão, que é o AHP (Analytic Hierarchy Process) (Saaty, 1980), para fins de obtenção dos dados para posterior aplicação no DEA.

## 2. FUNDAMENTAÇÃO TEÓRICA

### 2.1. ANÁLISE ENVOLTÓRIA DE DADOS

A técnica de construção de fronteiras de produção e indicadores de eficiência produtiva relativa teve origem no trabalho de Farrel (1957) e foi generalizada por Charnes et al. (1978), no sentido de trabalhar com múltiplos insumos e múltiplos produtos (Soares de Mello et al., 2002). O resultado foi o desenvolvimento do método DEA, e as suas aplicações para a medida de eficiência se tornaram as mais diversas possíveis.

Na utilização do DEA cada entidade de estudo é denominada de Unidade de Tomada de Decisão. Cada DMU é formada por uma relação entre as entradas e saídas de cada unidade envolvida com seus respectivos pesos atribuídos. A proposta do método DEA é estimar empiricamente a denominada fronteira eficiente baseada no conjunto de DMU disponível e projetar todas as DMU sobre esta fronteira (Korhonen e Wallenius, 1998).

A relação linear entre o *output* e o *input*, que fornecerá a medida de eficiência, está expressa pela Equação (1):

$$h_k = \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik}}$$

$$\text{Sujeito a } \frac{\sum_{j=1}^m u_j y_{jk}}{\sum_{i=1}^n v_i x_{ik}} \leq 1 \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (1)$$

$$v_i, u_j \geq 0 \quad \forall i, j.$$

Esta formulação evolui de uma programação fracionária para uma programação linear, surgindo a partir daí as técnicas de aplicação básicas DEA (Charnes et al., 1994).

$$\text{Max } h_k = \sum_{j=1}^m u_j y_{jk}$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1$$

$$\sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} \leq 0 \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

$$v_i, u_j \geq 0 \quad \forall i, j.$$

Existem duas técnicas utilizadas em DEA: a do retorno constante de escala, também denominado CCR (Charnes, Cooper e Rhodes, 1978) ou CRS (Constant Returns to Scale); e a do BCC (Banker, Charnes e Cooper, 1984) ou VRS (Variable Returns to Scale) ou retorno variável de escala (Charnes et al., 1984). A diferença entre uma técnica e outra é que na primeira as variáveis de entrada e saída sofrem alterações proporcionais ou constantes. Já na segunda técnica essa alteração é variável (Ângulo Meza et al., 2001).

Os modelos DEA podem também ser orientados para *inputs* ou para *outputs*, e essa orientação deve ser escolhida, previamente, pelo analista como ponto de partida na análise DEA (Lins et al., 2000). A orientação para *inputs* indica que desejamos reduzir (minimizar) os *inputs*, mantendo os *outputs* inalterados. Por outro lado, a orientação para *outputs* significa que desejamos aumentar (maximizar) os *outputs* sem alterar os *inputs* (Lins et al., 2000).

No modelo apresentado neste artigo, a orientação a *output* é que será utilizada, uma vez que pretende-se maximizar os *outputs* sem reduzir os *inputs*.

### 2.1.1 A Técnica CCR

Esta técnica apresentada por Charnes, Cooper e Rhodes (1978), constrói uma superfície não paramétrica linear por partes, sobre os dados e determina a eficiência técnica da DMU analisada sobre esta superfície (Soares de Mello, 2002).

De acordo com Soares de Mello, Gomes e Mangabeira (2005), a técnica CCR maximiza o quociente entre a combinação linear dos outputs e a combinação linear dos inputs, com a restrição de que para qualquer DMU esse quociente não pode ser maior que 1.

$$\text{Max } h_0 = \sum_{j=1}^m u_j y_{jk}$$

Sujeito a

$$\sum_{i=1}^n v_i x_{ik} = 1$$

$$\sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} \leq 0 \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (3)$$

$$v_i, u_j \geq 0 \quad \forall i, j.$$

Onde em sua formulação matemática, considera-se que cada DMU  $k$  é uma unidade de produção que utiliza  $n$  inputs  $x_{ik}$ ,  $i=1, \dots, n$  para produzir  $m$  outputs  $y_{jk}$ ,  $j=1, \dots, m$  considerando  $v_i$ ,  $u_j$  como os pesos referentes ao output  $j$ , e ao input  $i$  além de considerar  $y_{jk}$  e  $x_{ik}$ , respectivamente, como sendo as quantidades de output  $j$ , e input  $i$  para a DMU  $k$  (Soares de Mello et al., 2002).

Para o estudo apresentado a técnica CCR é a que foi adotada, uma vez que, os efeitos relacionados à escala não são relevantes (Soares de Mello *et al.*, 2002), pois o conjunto de empresas analisadas tem um porte semelhante.

## 2.2 RESTRIÇÕES AOS PESOS

De acordo com Allen e Thanassoulis (1998), a flexibilidade completa dos pesos em DEA acarreta estimativas inapropriadas de eficiência. Nestes casos, as DMU podem atribuir pesos suficientemente baixos a certos *inputs* e *outputs* de forma a desconsiderá-los por completo.

Para contornar esta situação existem três técnicas de restrições aos pesos segundo Angulo Meza *et al.* (2001): restrições diretas nos pesos, regiões de segurança (do tipo I e II) e restrições nos *inputs* e *outputs* virtuais.

Segundo Lins e Angulo Meza (2000), o conceito de região de segurança (*Assurance Region*) foi desenvolvido por Seiford e Thrall (1990) de maneira a se evitar o problema da inviabilidade. O enfoque de Região de Segurança permite aumentar sucessivamente uma AR até atingir um refinamento do nível de eficiência satisfatório.

As regiões de segurança são de dois tipos: região do tipo I – O método *Cone Ratio*, e a região do tipo II desenvolvida por Thompson *et al.* (1990). É possível resumir a aplicação da região de segurança conforme o modelo matemático da Equação 4. Neste modelo assume-se que em  $N$  DMU,  $j=1, \dots, N$ , a DMU  $j$  utiliza níveis de *input*  $x_{ik}$ ,  $i=1, \dots, m$  para produzir níveis de *outputs*,  $y_{jk}$ ,  $j=1, \dots, s$  (Thompson, Langemeier, and Lee (1990)).

$$\begin{aligned} \text{Max } h_0 &= \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} \\ \text{Subject to} \\ \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} &= 1 \\ \sum_{j=1}^m u_j y_{jk} - \sum_{i=1}^n v_i x_{ik} &\leq 0, k=1, 2, \dots, N \quad (4) \\ u_j - \eta_i v_i &\leq 0, \quad i=1, \dots, m, \quad r1 \\ \kappa_j v_j - v_{j+1} &\leq 0, \quad j=1, \dots, s, \quad r2 \\ \rho_j u_j - u_{j+1} &\leq 0, \quad i=1, \dots, m, \quad j=1, \dots, s, \quad r3 \\ -v_i &\leq -\varepsilon_i \quad i=1, \dots, m, \\ -u_j &\leq -\varepsilon_j \quad j=1, \dots, s. \end{aligned}$$

Observando a Equação (4) é possível mencionar que as restrições r2 e r3 são conhecidas como “Região de Segurança do Tipo I” e que a restrição r1 se refere a do tipo II. Após a apresentação dos três tipos de restrições aos pesos, no presente trabalho será aplicado o modelo categorizado por Thompson *et al.* (1990) que é o modelo de Região de Segurança do Tipo I ou o método do Cone Ratio.

## 2.3 O MÉTODO AHP

AHP é um método de escolha da melhor alternativa de decisão considerando critérios ou múltiplos objetivos expressos nos meios de valores qualitativos ou quantitativos (Shimizu, 2000).

O método foi criado por Saaty na década de 70 (Saaty, 1980) e tem sido empregado para situações de definição de prioridades, decisões estratégicas, avaliação de custos, planejamento e seqüência de atividades, previsões e decisões. Como em todo problema de MCDA, a estruturação de um problema no método AHP começa com a definição de um objetivo global ou final desejado.

O AHP é uma ferramenta poderosa para a análise de decisões de problemas complexos, uma vez que organiza os problemas de decisão em uma estrutura hierárquica contendo diversos níveis.

O primeiro nível define o objetivo principal da decisão do problema, e o último (menor) nível usualmente descreve as alternativas da decisão ou os cenários. O número de níveis não é limitado, mas nos casos típicos geralmente não excedem o número de quatro ou cinco (Jablonsky, 2007). Após a fase de estruturação e definição dos objetivos, os julgamentos entre os critérios, para eventual escolha das alternativas, devem ser feitos através de uma matriz de julgamento que obedece à Escala Fundamental de Saaty (1980). Os critérios (segundo nível na estrutura hierárquica) são representados nos julgamentos por seus respectivos atributos (valores de importância para os critérios), ou seja, os julgamentos são realizados entre os atributos.

No método AHP, os valores de importância dos atributos são obtidos com o autovetor,  $w$ , da matriz de julgamentos,  $A$ , conforme a Equação 2, onde  $\lambda$  é o autovalor máximo.

$$Aw = \lambda_{max}w \quad (5)$$

Para Gomes, Araya e Carignano (2003), existem vários procedimentos para se obter o vetor de prioridades, tais como: o autovetor direito, o autovetor esquerdo, a média aritmética das linhas da matriz e a média geométrica, entre outras. Para a decisão em grupo, como no caso do estudo apresentado neste trabalho, recorreu-se à utilização da média geométrica, por ser mais eficaz que as outras estimativas. Os pesos para as linhas da matriz são calculados pela Equação (3):

$$v_i = \sqrt[n]{\prod_{j=1}^n a_{ij}} = \sqrt[n]{a_{i1}a_{i2}...a_{in}} \quad (6)$$

E por sua vez, os valores  $v_i$  são normalizados pela Equação (7):

$$w_i = \frac{v_i}{v_1 + v_2 + \dots + v_n} \quad (7)$$

onde depois é resolvida a equação para  $\lambda_i$  para cada  $i=1, \dots, n$  como na Equação (8.)

$$A_i w = \lambda_i w \quad (8)$$

E com isso é possível obter o valor para  $\lambda_{max}$  através de:

$$\lambda_{max} = \frac{\lambda_1 + \lambda_2 + \dots + \lambda_n}{n} \quad (9)$$

No método AHP é possível saber a coerência entre os julgamentos. A mesma pode ser verificada pelo denominador CR (*Consistency Ratio – Razão de Coerência*), que é um indicador de coerência entre os julgamentos, e considera o afastamento entre  $\lambda$  e  $n$  conforme a equação (10):

$$CR = \frac{\lambda - n}{(n-1)RI} \quad (10)$$

Quando uma matriz de julgamentos apresenta todos os julgamentos coerentes entre si, tem-se  $\lambda = n$ , onde  $n$  é a ordem da matriz de julgamentos (Salomon, 2004).

Para Saaty (2001), se os valores de CR forem acima de 0,20, os julgamentos devem ser revistos. Entretanto, a incoerência entre os julgamentos deve servir mais como um alerta do que um fato desejável (Salomon, 2004). O que não impede que o método seja aplicado, mas os resultados não serão coerentes com os julgamentos. Por isso esta fase é importante para garantir que os resultados sejam confiáveis e justos.

Na síntese dos resultados para o método AHP prevalece a utilização das matrizes de julgamentos através dos valores encontrados para o desempenho global de cada critério. O intuito deste tópico foi apresentar o método AHP focado no estudo de caso desta pesquisa. Para maiores detalhes do método, recomenda-se a consulta a Shimizu (2000), ou Gomes, Araya e Carignano (2003).

## 2.4 APLICAÇÃO CONJUNTA DO DEA E DO AHP

Muitos pesquisadores têm encontrado similaridades entre a aplicação DEA e as técnicas de MCDM (Ramanathan, 2006). Um dos primeiros trabalhos integrando DEA com programação linear multiobjetivo (uma técnica MCDM) foi elaborado por Golany (1988).

Shang and Sueyoshi (1995) usaram o AHP para um modelo de simulação, com uma análise DEA, para selecionar um problema no sistema de manufatura flexível para uma organização manufatureira. Nesta aproximação, tanto o AHP quanto o modelo de simulação são utilizados para gerar inputs para o modelo DEA.

De acordo com Earty *et al.* (2006), o AHP é utilizado para poder quantificar os dados qualitativos, e por sua vez o DEA será aplicado tanto para os dados qualitativos quanto para os quantitativos. Estes pesos por sua vez, serão empregados na determinação dos valores dos critérios para a elaboração da matriz DEA.

Segundo Korpelaa, Lehmusvaarab, e Nisonenc (2007) é possível utilizar a informação gerada pela análise do AHP e combinar com os dados relacionando os inputs do processo para a medida de eficiência a ser gerada pelo DEA. O modelo proposto nesta pesquisa é dividido em etapas, segundo o modelo apresentado por Korhonen, Tainio e Wallenius (2001), que também aproxima estes dois métodos.

## 2.5 COMPOSIÇÃO DE CENÁRIOS

Or e Sarica (2007) propõem uma relação entre eficiência e os fatores de input/output com os resultados provenientes do DEA, ou seja, os resultados da aplicação do DEA estabelecem a oportunidade para a investigação das relações entre os valores de eficiência (global e / ou de escala) e, assim, alguns dos importantes fatores de *input* e *outputs* podem ser investigados.

Avellar, Milioni e Polezzi (2002) apresentam um estudo para avaliação de companhias telefônicas brasileiras, onde comparam os modelos DEA propostos por meio de gráficos, e com isso verificam quais grupos de empresas poderiam ser consideradas eficientes e passíveis de investimento. Assim, o presente estudo também propõe uma forma de investigar o comportamento na variação (redução) do número de variáveis de saídas do modelo DEA proposto, e os valores finais de eficiência obtidos.

Com isso, pretende-se agrupar quais empresas terceirizadas também podem receber algum determinado tipo de investimento, de forma a melhorar os seus processos.

### 3. ESTUDO DE CASO

#### 3.1 APRESENTAÇÃO DO ESTUDO DE CASO

A indústria aeronáutica possui processos particulares que são inerentes à atividade do mercado de aviação comercial. Dentro desse contexto, o processo de publicações técnicas de peças de reposição de aeronaves é apresentado neste estudo de caso com as suas variáveis.

Esses manuais são próprios da indústria aeronáutica e visam atender a manutenção e reposição de peças dos aviões que se encontram em operação, ou até mesmo ainda em fabricação.

Para diferentes modelos de aeronaves se faz necessário um suporte técnico no decorrer da vida útil da aeronave. Assim, todo este processo de integração e informação entre os diversos fabricantes de aeronaves e operadores (companhias aéreas) é regido por um conjunto de normas internacionais estabelecidos pela ATA (*Air Transport Association of America*) como as normas SPEC 2000 (*Air Transport Association of America Specification 2000*), e SPEC 2200 (*Air Transport Association of America Specification 2200*) em conjunto com a atuação dos órgãos homologadores nacionais e internacionais como a FAA (*Federal Aviation Administration*), EASA (*European Aviation Safety Agency*) e a ANAC (*Agência Nacional de Aviação Civil*).



Figura 1. O Processo de Elaboração das Publicações Técnicas de Peças (Filho et al.,2006)

O processo de Terceirização das publicações de peças tem início na elaboração dos pacotes de serviços de publicações técnicas de aeronaves (também denominados lotes de ilustrações) por parte da área de engenharia do fabricante, após uma rigorosa análise nos desenhos e documentações técnicas de projeto que selecionam e indicam as peças de reposição. O processo do emprego do recurso da terceirização é apresentado na Figura 2.

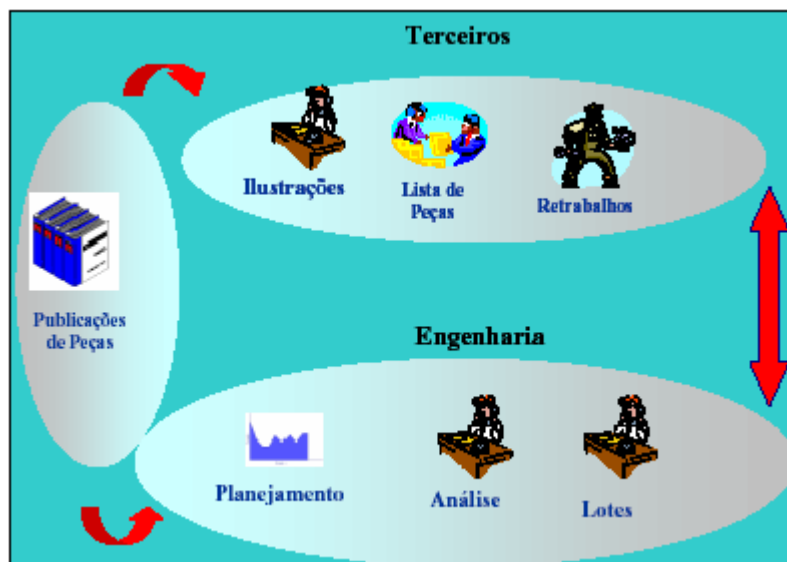


Figura 2 – O Processo de Terceirização das Publicações Técnicas de Peças (Ferreira Filho *et al.*, 2006)

Ressaltando-se que este recurso da terceirização será utilizado para dar um fluxo maior à carga de trabalho existente, e ao mesmo tempo garantir que as publicações técnicas de peças de aeronaves estarão sempre atualizadas para os operadores (clientes).

### 3.2 A COLETA DOS DADOS NA EMPRESA

Nesta etapa ocorre a descrição do levantamento dos dados orientados para se avaliar as empresas terceirizadas. Esta etapa é constituída das seguintes fases de acordo com Korhonen, Tainio e Wallenius (2001) :

(1) Definição dos critérios e indicadores, os quais serão usados para medir o desempenho das empresas prestadoras de serviços no processo de elaboração e atualização de publicações técnicas de peças de reposição de aeronaves.

(2) Coleta dos dados apropriados para a avaliação das empresas terceirizadas. Neste caso, para os dados considerados como não quantitativos, o emprego de uma ferramenta analítica para quantificá-los se faz necessário.

(3) O cálculo do valor das eficiências através do conceito do DEA, gerando resultados para cada unidade de tomada de decisão incorporando a opinião do decisor e considerando a importância dos diferentes *inputs* e *outputs* do processo.

#### 3.2.1 A Definição dos Critérios e dos Indicadores

Seguindo as fases propostas por Korhonen, Tainio e Wallenius (2001) para se levar em consideração a opinião do decisor na medida de eficiência, ocorre nesta fase a definição do conjunto de critérios e seus respectivos indicadores que sejam suficientes para caracterizar o processo de terceirização das publicações técnicas de peças.

Os critérios devem ser relevantes para o gestor. Será também importante usar o método múltiplo critério na avaliação porque é extremamente difícil encontrar uma maneira de agregar os critérios em um critério. O levantamento dos dados na empresa foi realizado com um grupo de especialistas na área de Engenharia de Peças de Reposição por meio de um questionário baseado nos relatórios mensais e dados coletados junto às empresas prestadoras de serviços.

Desta forma, os critérios e os indicadores definidos, através deste consenso junto com o gestor e o grupo de especialistas de Publicações Técnicas de aeronaves, que melhor caracterizam o processo de terceirização dos serviços de publicações técnicas de peças foram os seguintes:



(a) Critério: Qualidade (C1)

- Ilustração,
- Lista de Peças
- Número de Questões

(b) Critério: Prazo (C2)

- No Prazo,
- Reprogramado,
- Em atraso

(c) Critério: Custo (C3)

- Ilustração Nova,
- Ilustração Revisada
- Por Item

De forma a agregar valores para os indicadores é necessário quantificá-los com as ferramentas apropriadas. Para o estudo de caso foi escolhido o método AHP, pois o mesmo será usado para determinar os pesos para cada indicador. A aplicação do método AHP também será apresentada mais adiante.

### 3.3 APLICAÇÃO DOS MÉTODOS E O MODELO PROPOSTO

O presente trabalho tem como proposta a aplicação conjunta de um método de auxílio à decisão que é o AHP com uma técnica de tomada de medida de eficiência que é o DEA.

O fluxograma com o modelo proposto para o estudo é apresentado na Figura 3, segundo o modelo apresentado por Korhonen, Tainio e Wallenius (2001), para a aplicação do AHP na priorização dos indicadores dos critérios. Este modelo de estudo é inédito somente no que se refere a composição de cenários, onde o intuito é observar a variação dos valores dos desempenhos destas empresas terceirizadas ( DMUs) na indústria aeronáutica quando o número de saídas do processo é reduzido. A parte inicial do modelo é uma adaptação do modelo apresentado por Korhonen, Tainio e Wallenius (2001) conforme já mencionado anteriormente.

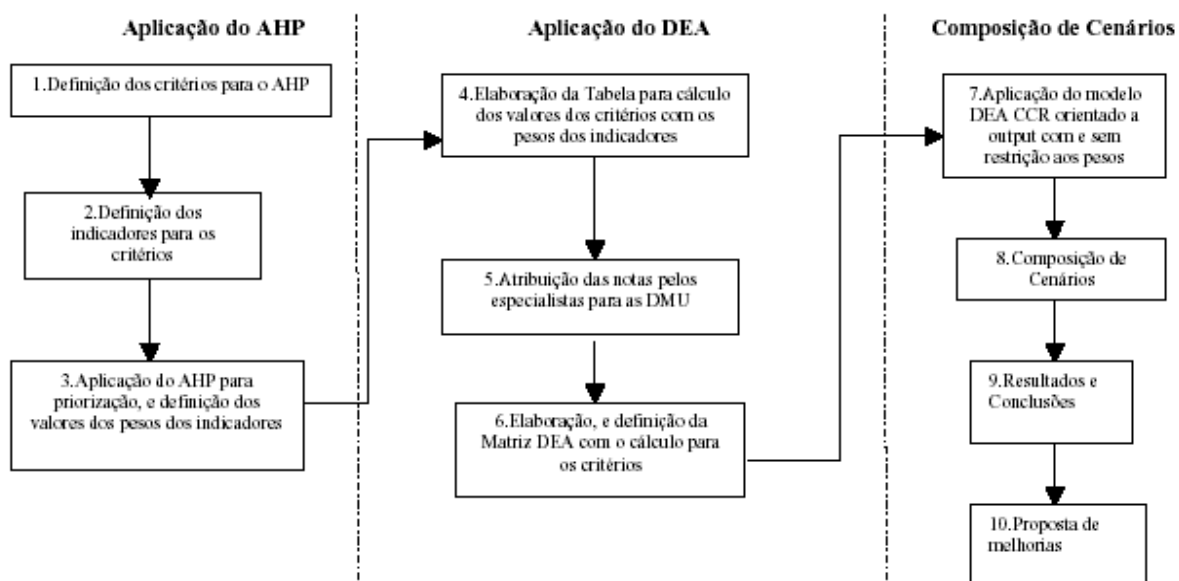


Figura 3 – Fluxograma com as etapas do modelo proposto DEA e AHP

As etapas do estudo apresentadas no Fluxograma da Figura 3 são as seguintes: na primeira etapa ocorre a aplicação do método AHP, após a definição dos critérios e dos indicadores. Na segunda etapa ocorre a aplicação do DEA e a tomada de medida de eficiência das empresas terceirizadas. Por fim, a última etapa refere-se a uma composição de cenários para verificar o comportamento entre as entradas e as saídas quanto aos resultados finais de medida de eficiência.

### 3.3.1 Aplicação do AHP

O primeiro passo do modelo proposto será a aplicação do AHP. Com isso, foram criadas as matrizes de julgamentos baseadas na observação do grupo de especialistas quanto ao peso dos indicadores para cada critério. Os julgamentos foram baseados na Escala Fundamental de Saaty (1980).

As matrizes de julgamentos estão apresentadas nas Tabelas 1, 2 e 3. Para a matriz de julgamento do critério da Qualidade (C1), os atributos dos indicadores apontam para um valor de prioridade maior para o indicador da lista de peças quando comparado com os valores encontrados para os demais indicadores, como a ilustração e a lista de peças que obtiveram um valor menor de prioridade.

Tabela 1. Matriz de julgamentos AHP para o critério da Qualidade (C1)

Desempenho dos indicadores				
Critério C <sub>1</sub> (Qualidade)				
Alternativas	Ilustração	Lista de Peças	Nº de Questões	prioridade
Ilustração	1	0,20	2	0,20
Lista de Peças	5	1	3	0,65
Nº de Questões	0,5	0,33	1	0,15

Este mesmo processo ocorrerá para os critérios C2 (Prazo), C3 (Custo) e os seus resultados estão disponíveis abaixo.

Tabela 2. Matriz de julgamentos AHP para o critério de Prazo (C2)

Desempenho dos indicadores				
Critério C <sub>2</sub> (Prazo)				
	No Prazo	Reprogramado	Atraso	prioridade
No Prazo	1	4	8	0,70
Reprogramado	0,25	1	5	0,23
Atraso	0,125	0,20	1	0,07

Por fim, têm-se os valores do desempenho para o indicador C3 do Custo que se encontram na Tabela 3.

Tabela 3. Matriz de julgamentos AHP para o critério de Custo (C3)

Desempenho dos indicadores				
Critério C <sub>3</sub> (Custo)				
	Ilustr.Nova	Ilustr.Revisada	Por Item	prioridade
Ilustr.Nova	1	5	4	0,68
Ilustr.Revisada	0,20	1	3	0,21
Por Item	0,25	0,33	1	0,11

### 3.4 APLICAÇÃO DO DEA SEM RESTRIÇÕES AOS PESOS

A aplicação conjunta dos métodos DEA com o AHP provém da necessidade de se considerar a opinião do decisor na medida de eficiência. O modelo DEA adotado para o estudo de caso foi o modelo DEA CCR (Charnes *et al.*, 1978), pelo fato das empresas prestadoras de serviços possuírem porte semelhante, ou seja, os efeitos relacionados à escala de cada empresa não são relevantes (Soares de Mello *et al.*, 2002).

A opção de orientação foi o modelo orientado a *output*, uma vez que o objetivo é o de maximizar as saídas, mantendo-se os níveis atuais dos recursos (*inputs*), uma vez que no modelo proposto há uma predominância deste tipo de parâmetro.

Sendo assim, para a aplicação do modelo DEA, o *input* é representado pela carga de trabalho submetida às empresas terceirizadas, que ocorre após uma análise preliminar de uma equipe técnica dividida em sistemas e tecnologias do avião conforme recomendado pelas normas SPEC 2000 (*Air Transport Association of América Specification 2000*) e SPEC 2200 (*Air Transport Association of America Specification 2200*).

Já o *output* é expresso em termos da quantidade de figuras trabalhadas e incorporadas nas publicações de peças, sendo diferenciadas se esta atividade teve o seu prazo atendido ou não.

Os valores dos critérios para cada alternativa serão utilizados para avaliar a eficiência de produção para estas empresas prestadoras de serviços com o DEA, onde nesta aplicação do DEA, os outputs (saídas) do processo são representados pelos critérios C1 (Qualidade), C2 (Prazo) e C3 (Custo) enquanto que o input (entrada) do processo é expresso pelo critério C4 (documentos técnicos).

Os pesos dos indicadores foram utilizados para se determinar os valores para cada critério. A Tabela 4 apresenta o resultado desta análise.

Tabela 4. Determinação dos Valores do critério C1 ( adaptado de Korhonen, Tainio e Wallenius (2001).

	Ilustração	Lista de Peças	Nº de Questões	C1
DMU/Pesos	0,20	0,65	0,15	
A	0,9	0,9	0,6	85
B	0,6	0,6	0,8	63
C	0,7	0,7	0,7	72
D	0,7	0,8	0,5	72
E	0,7	0,7	0,7	68
F	0,6	0,8	0,7	72
G	0,7	0,7	0,8	73
H	0,6	0,6	0,7	66

Tabela 5. Determinação dos Valores do critério C2 ( adaptado de Korhonen, Tainio e Wallenius , 2001).

	No Prazo	Reprogramado	Atraso	C2
DMU/Pesos	0,70	0,23	0,07	
A	0,84	0,69	0,42	78
B	0,62	0,65	0,51	62
C	0,72	0,70	0,43	70
D	0,72	0,58	0,47	67
E	0,7	0,81	0,86	74
F	0,67	0,71	0,70	68
G	0,7	0,72	0,68	70
H	0,6	0,76	0,74	65

Tabela 6. Determinação dos Valores do critério C3 ( adaptado de Korhonen, Tainio e Wallenius , 2001)

	Ilustr.Nova	Ilustr.Rev.	Por Item	C3
DMU/Pesos	0,68	0,21	0,11	
A	0,80	0,83	0,83	81
B	0,84	0,85	0,83	84
C	0,83	0,84	0,83	83
D	0,80	0,81	0,80	81
E	0,83	0,62	0,70	77
F	0,85	0,75	0,71	82
G	0,79	0,40	0,90	72
H	0,78	0,60	0,70	73

Tabela 7. Matriz de dados do DEA

DMU	OUTPUTS			INPUT
	C1	C2	C3	C4
A	85	78	81	90
B	63	62	84	85
C	72	70	83	75
D	72	67	81	60
E	68	74	77	72
F	72	68	82	80
G	73	70	72	70
H	66	65	73	65

Adaptando a Equação 3, para o estudo em questão, a seguinte formulação é proposta, considerando as variáveis  $C_i$  e  $C_j$  como os critérios, sendo  $i=4$ , a entrada (*input*), e  $j=1,2,3$  as saídas (*outputs*) do processo para uma determinada DMU  $N=0,1,2,\dots,n$  com eficiência  $h_0$ , e  $v_i$ , e  $u_j$ , os respectivos pesos das variáveis de entrada ( $C_i$ ) e de saída ( $C_j$ ).

$$\text{Min } h_0 = \sum_{i=4}^n v_i C_i$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1,2,3}^m u_j C_j = 1$$

$$\sum_{i=4}^n v_i C_i - \sum_{j=1,2,3}^m u_j C_j \geq 0 \quad (11)$$

$$v_i \geq \varepsilon, \quad i=4$$

$$u_j \geq \varepsilon, \quad j=1,2,3$$

$$\varepsilon \geq 0, \text{ não arquimediano}$$

$$C_i, C_j \geq 0 \quad i,j$$

### 3.4.1 Resultados da Aplicação do DEA sem Restrições aos Pesos

Os resultados para a avaliação da eficiência de cada DMU, através do DEA, sem restrições aos pesos podem ser vistos na Tabela 8.

Tabela 8 – Resultados da aplicação do DEA sem restrições aos pesos

DMU	Eficiência
A	0,79
B	0,73
C	0,84
D	1,00
E	0,92
F	0,76
G	0,90
H	0,90

Observando os resultados da Tabela 8, é possível notar que a DMU D é a mais eficiente quanto a aplicação do DEA sem restrição aos pesos, e que as demais DMU não são tão eficientes como a DMU D. Com relação à existência de pesos nulos nas variáveis das DMU analisadas, a Tabela 9 apresenta estes valores.

Tabela 9 – Pesos atribuídos no modelo DEA CCR sem restrição aos pesos

DMU	Peso Input_1	Peso Output_1	Peso Output_2	Peso Output_3
A	0,01411765	0,01176471	0	0
B	0,01607143	0	0	0,01190476
C	0,01595238	0	0,01428571	0
D	0,01666667	0	0	0,01234568
E	0,01509009	0	0,01351351	0
F	0,01642157	0	0,01470588	0
G	0,01595238	0	0,01428571	0
H	0,01717949	0	0,01538462	0

Pode-se observar pela Tabela 9 que existem dois pesos nulos para cada uma das DMU, o que significa que estas variáveis não estão sendo consideradas como critérios de avaliação. Para melhorar esta ordenação recorre-se à imposição no modelo das restrições aos pesos. Para este estudo de caso, os resultados da avaliação do DEA foram elaborados com o software SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão (Angulo Meza et al., 2003).

### 3.5 APLICAÇÃO DO MODELO DEA COM RESTRIÇÕES AOS PESOS

O método de região de Segurança do Tipo I desenvolvido por Thompson et al. (1990) foi utilizado nesta proposta de modelo, uma vez que o modelo proposto visa maximizar os outputs.

Pode-se obter uma formulação geral para o caso da aplicação do modelo DEA CCR com restrições aos pesos neste estudo de caso, e esta formulação é expressa por:

$$\text{Min } h_0 = \sum_{i=4}^n v_i C_i$$

Sujeito a

$$\sum_{j=1,2,3}^m u_j C_j = 1$$

$$\sum_{i=4}^n v_i C_i - \sum_{j=1,2,3}^m u_j C_j \geq 0 \quad k = 1, 2, \dots, n \quad (25)$$

$$C_i, C_j \geq 0 \quad i, j$$

$$\rho_j C_j - C_{j+1} \leq 0, \quad i=1, 2, \dots, n$$

$$C_j, C_{j+1} \geq 0$$

A relação entre as restrições impostas aos pesos pelo método da região de segurança desenvolvido por Thompson et al. (1990) está indicada por valores na Tabela 10.

Tabela 10 – Valores dos pesos atribuídos

RESTRIÇÃO S	PESO OUTPUT 1 (C <sub>1</sub> )	PESO OUTPUT 2 (C <sub>2</sub> )	PESO OUTPUT 3 (C <sub>3</sub> )
1	1	-1	
2		-1	1

Esta ordem das restrições aos pesos também é proveniente da opinião dos especialistas que apontaram esta ordem nos indicadores. Com isso, o output 1, representado pelo critério C1 da Qualidade, tem um peso maior que os outputs 2 e 3.

Os valores das eficiências das DMU com a aplicação do modelo DEA CCR, com restrição aos pesos, estão na Tabela 11.

Tabela 11 – Eficiência DEA com restrições aos pesos

DMU	Eficiência
A	0,79
B	0,68
C	0,82
D	1,00
E	0,83
F	0,76
G	0,87
H	0,86

Comparando-se os resultados obtidos da aplicação do DEA sem as restrições aos pesos e os resultados do DEA com as restrições aos pesos, percebe-se que a DMU (D) obteve o melhor desempenho com eficiência de valor 1.0. Outro importante ponto é mostrado na Tabela 12, onde se nota uma redução no número de pesos nulos nas variáveis dos critérios adotados no modelo, o que representa que o modelo se tornou menos benevolente quando comparado ao modelo empregado pelo DEA padrão.

Tabela 12 – Pesos atribuídos no modelo DEA CCR com restrição aos pesos

DMU	Peso Input 1	Peso Output 1	Peso Output 2	Peso Output 3
A	1,2705882	1	0	0
B	1,5604488	0,57432432	0	0,57432432
C	1,4658176	0,36595319	0,36595319	0,36595319
D	1,5	0,55207608	0	0,55207608
E	1,5027769	0,37518038	0,37518038	0,37518038
F	1,4862385	0,37105143	0,37105143	0,37105143
G	1,4794521	1,1643836	0	0
H	1,6158605	0,40341262	0,40341262	0,40341262

Agora existem quatro DMU sem pesos nulos, onde antes da aplicação do modelo sem as restrições aos pesos todas as DMU tinham pesos nulos.

#### 4 APLICAÇÃO DA COMPOSIÇÃO DE CENÁRIOS

A avaliação da composição dos cenários é proposta neste estudo de caso na indústria aeronáutica, para verificar o comportamento da medida de eficiência, considerando-se o número total de outputs no estudo em questão, e a denominada eficiência técnica (CCR), já obtida anteriormente pelo modelo DEA CCR, com os valores da eficiência a serem determinados com um número menor de outputs, no caso sendo dois

outputs para cada cenário. Esta composição de cenários visa também, de certa forma, verificar a coerência dos resultados obtidos com o modelo DEA CCR.

Serão dois cenários a serem compostos, o primeiro cenário apresentado na Tabela 13, visa a determinação da medida de eficiência das empresas terceirizadas, considerando-se os critérios da Qualidade (C1) e do Custo (C3) como outputs, e o input como sendo a quantidade de documentos técnicos a serem liberados (C4). Já o segundo cenário apresentado na Tabela 14 considera como outputs os critérios do Prazo (C2) e o do Custo (C3) como outputs, tendo também como input a quantidade de documentos técnicos a serem liberados (C4).

Tabela 13 – Composição do Cenário 1

CENÁRIO 1			
	OUTPUTS		INPUT
DMU	C1	C3	C4
A	85	81	90
B	63	84	85
C	72	83	75
D	72	81	60
E	68	77	72
F	72	82	80
G	73	72	70
H	66	73	65

CENÁRIO 2			
	OUTPUTS		INPUT
DMU	C2	C3	C4
A	78	81	90
B	62	84	85
C	70	83	75
D	67	81	60
E	74	77	72
F	68	82	80
G	70	72	70
H	65	73	65

Tabela 14 – Composição do Cenário 2

Uma próxima etapa, a ser considerada na composição de cenários, é a comparação através de gráficos entre os valores de eficiência encontrados nos cenários 1 e 2 com os valores encontrados para a eficiência, considerando os três critérios como *outputs* e o critério C4 como *input* do processo. As Tabelas 15, 16 e 17 apresentam uma comparação dos valores das eficiências obtidas para as DMUs nos cenários 1 e 2 entre si e com o modelo DEA CCR original (considerando três *outputs*). Lembrando que estas Tabelas refletem diferentes cenários, o que não poder ser tratado de uma forma única, mas separadas umas das outras, pois o intuito do estudo nesta fase é justamente verificar o comportamento das DMUs quanto a variação no número de saídas d processo.

Tabela 15 – Eficiência Cenário 1 x Eficiência CCR

DMU	Eficiência Cenário 1	Eficiência CCR
A	78%	79%
B	73%	73%
C	81%	84%
D	100%	100%
E	79%	92%
F	75%	76%
G	86%	90%
H	84%	90%

Tabela 16 – Eficiência Cenário 2 x Eficiência CCR

DMU	Eficiência Cenário 2	EficiênciaCCR
A	77%	79%
B	73%	73%
C	83%	84%
D	100%	100%
E	92%	92%
F	76%	76%
G	89%	90%
H	89%	90%

Tabela 17 – Eficiência Cenário 1 x Eficiência 2

DMU	Eficiência Cenário 1	Eficiência Cenário 2
A	78%	77%
B	73%	73%
C	81%	83%
D	100%	100%
E	79%	92%
F	75%	76%
G	86%	89%
H	84%	89%

Através dos gráficos é possível obter os principais grupos de empresas representadas no estudo de caso, que de certa forma estão próximas de uma eficiência de 100%, que podem receber algum tipo de investimento ou incentivo para uma melhora nos seus processos, de forma a atingir a eficiência considerada ideal.

Com isso, o primeiro gráfico, que é o gráfico da Figura 4, relaciona a Eficiência do Cenário 1 e a Eficiência CCR do modelo original. Os gráficos são necessários para facilitar a visibilidade dos grupos de empresas que precisam ou não terem investimentos em seus processos.

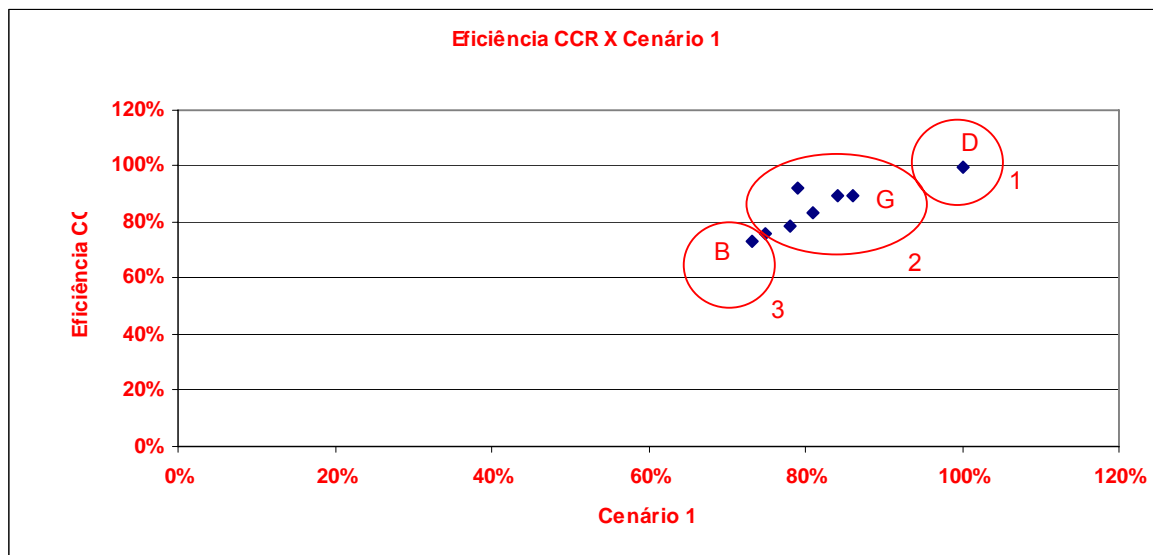


Figura 4 –Eficiência CCR X Eficiência Cenário 1

Já o Gráfico da Figura 5 relaciona a Eficiência do Cenário 2 e a Eficiência CCR do modelo original.



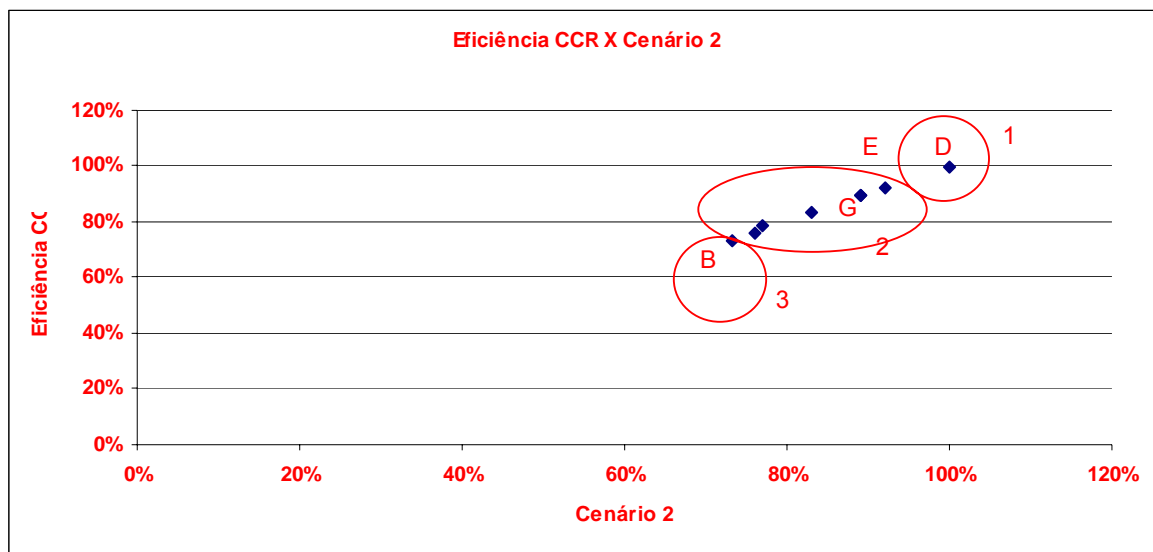


Figura 5 – Eficiência CCR X Eficiência Cenário 2

Por fim, o Gráfico da Figura 6 apresenta uma relação entre o Cenário 1 e 2.

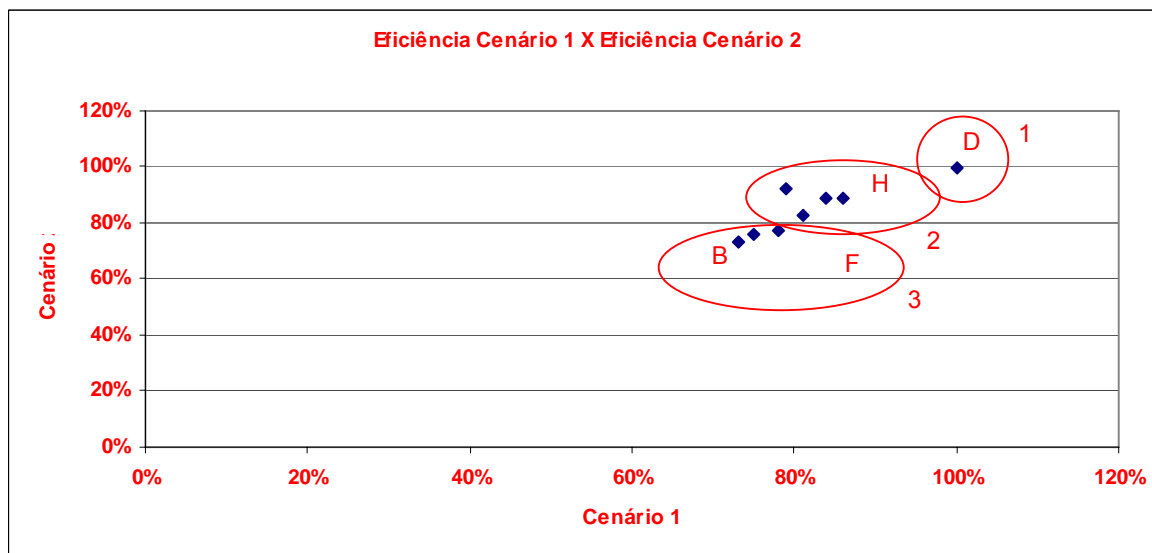


Figura 6 – Eficiência Cenário 1 x Eficiência Cenário 2

#### 4.1 ANÁLISE DOS RESULTADOS DOS GRÁFICOS

Através da análise dos Gráficos provenientes da composição de cenários, cuja proposta foi verificar o comportamento da medida de eficiência, considerando-se o número total de outputs no estudo em questão e a eficiência CCR já obtida anteriormente pelo modelo DEA, pode-se deduzir que:

- O benchmark se encontra no Grupo 1, constituído pela DMU D que apresentou um desempenho de valor 1.0 tanto no cenário 1 quanto no cenário 2, e no modelo original CCR.
- O comportamento do Grupo 2 para os cenários 1, 2, e na eficiência CCR original apresentou algumas diferenças, como por exemplo a DMU E, que apesar de apresentar o mesmo valor de eficiência nos cenários 2 e no modelo original CCR (92%) teve o seu valor de eficiência reduzido no cenário 1 (79%).

- Já as DMU E, e H apresentaram um aumento no valor da eficiência no Cenário 2.
- O Grupo 3 representa as empresas que não obtiveram um bom desempenho e que necessitam melhorias sensíveis nos seus processos. No caso são as empresas B e F.
- Diante dos resultados nota-se também a importância do critério da Qualidade (C1) na medida de eficiência destas empresas, onde no cenário em que o mesmo não foi considerado, algumas DMU obtiveram um melhor desempenho.

Este resultado com os cenários mostrou-se bem próximo dos valores obtidos com o modelo DEA, considerando todas as variáveis (no caso, os três critérios de outputs, ao invés de dois critérios conforme proposto pelos cenários 1 e 2). Com isso pode-se dizer que os dados apresentados são consistentes quando comparados entre si, uma vez que apresentaram um comportamento semelhante quanto aos valores encontrados.

Por fim pelas análises feitas, pode-se dizer que esta redução não alterou o resultado final de desempenho das empresas terceirizadas, e que de certa forma os resultados obtidos pelos gráficos, e tabelas demonstraram também um comportamento semelhante, considerando a análise de redução no número de variáveis no modelo proposto.

## **5. CONCLUSÕES**

No presente trabalho, uma aplicação dos métodos DEA e AHP, em um estudo de caso na indústria aeronáutica, foi apresentada, para medir a eficiência de empresas prestadoras de serviços no processo de elaboração, e atualização das publicações técnicas de peças de reposição de aeronaves.

Dessa maneira, foi possível determinar a eficiência de cada empresa prestadora de serviço, considerando como outputs e input do processo os critérios determinados inicialmente pelo decisor. Através da aplicação do AHP foi possível escalonar os indicadores em pesos e definir qual deles seria considerado o mais relevante, de acordo com a matriz de julgamento determinada para o AHP, pelo grupo de especialistas. Estes resultados foram utilizados para determinar a eficiência de cada alternativa (no caso, cada alternativa representa uma empresa terceirizada no processo) através da aplicação do método DEA. Todos os valores de desempenho obtidos com os modelos DEA com e sem restrições aos pesos refletem o desempenho real de cada DMU.

Como resultado da avaliação DEA, a empresa ou DMU D foi considerada a mais eficiente para o modelo com orientação a output tanto na aplicação do DEA sem restrição aos pesos, quanto na aplicação do DEA com restrição aos pesos. De fato, a DMU D foi considerada pelos especialistas, como a empresa com o melhor desempenho, atendendo a todos os critérios de uma forma satisfatória, o que valida o resultado do DEA com a pesquisa de campo.

Os resultados obtidos com a composição de cenários também foram relevantes, uma vez que apontaram a consistência do método adotado em função da semelhança no comportamento observado nos gráficos para as empresas. Com isto, também pode-se mencionar a respeito do número de variáveis, no caso dos outputs que mesmo sendo reduzido não interferiu no resultado final do desempenho das empresas terceirizadas. Com o resultado da composição de cenários foi possível também juntar as empresas em grupos, onde é possível identificar quais empresas são passíveis ou não de investimentos em melhorias nos seus processos. A proposta de desenvolvimento de um modelo, através de uma aplicação integrada do método AHP com o método DEA, vem atender a necessidade de medir a eficiência das empresas prestadoras de serviços no processo de elaboração e revisão das publicações técnicas de peças de reposição de aeronaves para o modelo proposto neste estudo de caso aplicado na indústria aeronáutica.

Uma proposta para trabalhos futuros é quanto à composição de cenários. É possível conduzir um estudo focado na aplicação do método de análise de Cluster (grupos) ao invés de ordenar as empresas pela medida de eficiência medida.

## 6. REFERÊNCIAS

ALLEN, R.; THANASSOPOULOS, A.; DYSON, R. G.; THANASSOULIS, E. **Weights Restrictions and Value Judgements in Data Envelopment Analysis: Evolution, Development And Future Directions**. Annals of Operations Research, v. 73, p. 13-34, 1997.

ANGULO MEZA, L.; LINS, M. P. E. **Review of Methods for Increasing Discrimination in Data Envelopment Analysis**. Annals of Operations Research. New Jersey/USA: v.116, p.225 - 242, 2002.

ANGULO MEZA, L.; BIONDI NETO, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; COELHO, P. H. G. SIAD - Sistema Integrado de Apoio à Decisão: Uma Implementação Computacional de Modelos de Análise Envoltória de Dados. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, v. 3, n. 20. Niterói: Universidade Federal Fluminense - Mestrado em Engenharia de Produção, 2003.

ANGULO MEZA, L.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; SOARES DE MELLO, M. H. C. Uma análise da qualidade e produtividade de programas de pós-graduação em Engenharia, **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**, Universidade Federal Fluminense, Niterói, Rio de Janeiro, 2001.

AVELLAR, J. V. G.; MILIONI, A. Z.; RABELLO, T. N. Modelos DEA com variáveis limitadas ou soma constante. **Pesquisa Operacional**, v.25, n.1, p.135-150, 2005.

AVELLAR, J. V. G.; POLEZZI, A. O. D.; MILIONI, A. Z. On the evaluation of brazilian landline telephone services companies. **Revista Pesquisa Operacional**, v.22, n2, 231-246, 2002.

BANKER, R. D.; CHARNES, A.; COOPER, W. W. Some models for estimating technical scale inefficiencies in data envelopment analysis. **Management Science**, 30 (9), 1078-1092, 1984.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; LEWIN, A.; SEIFORD, L. **Data Envelopment Analysis: theory, methodology and applications**. Kluwer Academic Publishers, Hinghham, 1994.

CHARNES, A.; COOPER, W. W.; RHODES, E. "Measuring the efficiency of decision – making units". **European Journal of Operational Research**, 2, 429-444, 1978.

COSTA, H. G.; FREITAS, A. L. P. Metodologia multicritério para a medição e classificação do grau de satisfação de clientes. In: METROLOGIA, 1., 2000, São Paulo. **Anais...São Paulo: Sociedade Brasileira de Metrologia**, 2000. v.1. p.10.

DOUMPOS, M.; ZOPOUNIDIS, C. **Multicriteria decision aid classification methods**, Kluwer, Dordrecht (Nederland), 2002.

DYSON, R. G.; ALLEN, R.; CAMANHO, A. S.; PODINOVSKI, V. V.; SARRICO, C. S. pitfalls and protocols in DEA. **European Journal of Operational Research**, 132, 245–259, 2001.

ENSSLIN, L.; MONTIBELLER NETO, G.; NORONHA, S. M., **Apoio à Decisão: metodologias para estruturação de problemas e avaliação multicritério de alternativas**, Insular, Florianópolis, 2001.

ERTAY, T.; RUAN, D.; TUZKAYA, U, R. Integrating data envelopment analysis and analytic hierarchy for the facility layout design in manufacturing systems. **Information Sciences**. 176, 237–262, 2006.

FERREIRA FILHO, A. J. C. A.; MACHADO, M. G.; MOELLMANN, A. H.; SALOMON, V. A. P. **Aplicação de métodos diferentes de tomada de decisão com múltiplos critérios na terceirização de serviços de publicações técnicas de peças na indústria aeronáutica**, XXXVIII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Goiânia, 2006.

FERREIRA FILHO, A. J. C. A.; MARINS, F. A. S.; SALOMON, V. A. P. **Measuring the efficiency of outsourcing: an illustrative case study from the aerospace industry. Complex Systems Concurrent Engineering: Collaboration, Technology innovation and Sustainability**, Springer, UK, 799-807, 2007.

GOMES, E. G.; LINS, M. P. E.; ANGULO MEZA, L.; SERAPIÃO, B. P.; SOARES DE MELLO, J. C. B.; ANTUNES, J. S. Análise de envoltória de dados no estudo da eficiência e dos benchmarks para companhias aéreas brasileiras. **Pesquisa Operacional**, v.23, n.2, p.325-345, 2003.

GOMES, L. F. A. M. G.; ARAYA, M. C. G.; CARIGNANO, C. **Tomada de decisões em cenários complexos**, ed.Cengage Learning, 1ª ed., São Paulo, 2003.

HALME, M.; JORO, T.; KORHONEN, P.; SALO, S.; WALLENIIUS, J. **Value Efficiency Analysis for incorporating preference information in Data Envelopment Analysis**, IR-98-054/August, International Institute for Applied Systems Analysis, Laxenburg , Austria, 1998.

HUNG H. T; C. KAO. **Efficiency analysis of university departments:An empirical study**. Omega, 36, 653 – 664, 2008.

KORHONEN, P.; TAINIO, R.; WALLENIIUS, J. A. Value efficiency analysis of academic research. **European Journal of Operational Research**. 130,121-132, 2001.

KORPELAA, J.; LEHMUSVAARAB, A.; NISONENC, J. Warehouse operator selection by combining AHP and DEA methodologies. **Int. J. Production Economics** 108, 135–142, 2007.

LEE, W. S. Benchmarking the energy efficiency of government buildings with data envelopment analysis. **Energy and Buildings**. 40 (5) , 891–895, 2008.

LETA, F. R.; SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; ANGULO MEZA, L. Métodos de melhora de ordenação em DEA aplicados à avaliação estática de tornos mecânicos. **Investigação Operacional**, 25, 229-242, 2005.

LIKERT, R. A. Technique for measurement of attitudes. **Archives of psychology**, v.140, n.1, p.5-55, 1932.

LINS, M. P. E.; NETO, L. B.; CHIGANER, L.; FUKUDA, F. H.; ROBERTO, V. D.; ANTONIO, E. R.; OLIVEIRA, F. S. **Determinação da eficiência relativa de unidades de tomadas de**

**decisão: Uma abordagem neural.** Anais do XXXII Simpósio Brasileiro de Pesquisa Operacional, Viçosa, 2000.

NOVAES, A. G. **Logística e Gerenciamento da cadeia de distribuição: estratégia, operação e avaliação.** 2ª ed. Rio de Janeiro, Elsevier, 2004.

OR, I.; SARICA, K. Efficiency assessment of Turkish power plants using data envelopment analysis. **Energy**, 32, 1484–1499, 2007.

RAMANATHAN, R. Data envelopment analysis for weight derivation and aggregation in the analytic hierarchy process. **Computers & Operations Research**, 33, 1289–1307, 2006.

RIBEIRO, T.A.C. **Avaliação institucional de IES: um estudo de caso sob a ótica do corpo discente.** 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Produção) – Universidade Estadual do Norte Fluminense, Campos dos Goytacazes.

ROLL, Y.; COOK, W.; GOLANY, B. Controlling Factor weights in DEA. **IEEE Transactions**, 23, 2-9, 1991.

ROY, B. **Classement et choix en presence de points de vue multiples** (la methode Electre). Lausanne: Presses Polytechniques et Universitaires, 1968.

SAATY, T. L.. **The Analytic Hierarchy Process**, McGraw-Hill, New York, 1980.

\_\_\_\_\_. **Método de análise hierárquica.** São Paulo: McGraw-Hill, 1991.

SALOMON, V. A. P. **Desempenho da modelagem do auxílio à decisão por múltiplos critérios na análise do planejamento e controle da produção**, Tese de Doutorado, Universidade de São Paulo, São Paulo, 2004.

SHIMIZU, T. **Decisão nas organizações: introdução aos problemas de decisão gerencial encontrados nas organizações e nos sistemas de apoio à decisão**, Atlas, São Paulo, 2001.

SOARES DE MELLO, J. C. B.; GOMES, E. G.; ANGULO MEZA, L.; MELLO, M. H. C. S. Uma análise da qualidade e da produtividade de Programas de Pós-Graduação em Engenharia. **Ensaio - Avaliação e Políticas Públicas em Educação**, v.39, p. 167-179, 2003.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; LINS, M. P. E.; MELLO, M. H. C. S. Emprego de métodos ordinais multicritério na análise do campeonato mundial de Fórmula 1. **Relatórios de Pesquisa em Engenharia de Produção**- Universidade Federal Fluminense, 2002.

SOARES DE MELLO, J. C. C. B.; GOMES, E. G.; MANGABEIRA, J. A. C. Análise de envoltória de dados para avaliação de eficiência e caracterização de tipologias em agricultura: um estudo de caso. **RER**, Rio de Janeiro, vol. 43, nº 04, p. 607-631, 2005.

SOARES DE MELLO, M. H. C. **Avaliação de desempenho nas engenharias: estudo de caso UFF**. Tese de Mestrado, Engenharia de Produção, Universidade Federal Fluminense, Niterói, 2002.

SPEC 2000. **Air Transport Association of America Specification 2000**, Washington, USA, 2000.

SPEC 2200. **Air Transport Association of America Specification 2200**, Washington, USA, 2002.

THANASSOULIS, E.; DYSON, R. G. Estimating preferred target input-output levels using data envelopment analysis. **European Journal of Operational Research**. 56, 80-97, 1992.

THOMPSON, R. G.; LANGEMEIER, L. N., LEE. The Role of multiplier bounds in efficiency analysis with application to kansas farming. **Journal of Econometrics**, vol.46, pp.93-108, 1990.

VASCONCELLOS, V. A.; CANEN, A. G.; LINS, M. P. E. Detecção das melhores práticas operacionais através do conjunto Benchmarking-DEA: o caso das refinarias de petróleo. **Pesquisa Operacional**, v.26, n.1, p.51-67, 2006.

YANG, T.; KUO, C. A hierarchical AHP/DEA methodology for the facilities layout design problem. **European Journal of Operational Research**, 147, 128–136, 2003.

YIN, R. **Estudo de caso: Planejamento e Métodos**. 2ª ed. Porto Alegre: Bookman, 2001.

YOO, H., A study on the efficiency evaluation problem of total quality management activities in Korean companies. **The Total Quality Management** 14 (1), 119–128, 2003.

## Development of a model to measure the efficiency of outsourced companies in the process of aircraft spare parts technical publications

Angelo José Castro Alves Ferreira Filho, angelo.ferreira@hotmail.com

Fernando Augusto Silva Marins, fmarins@feg.unesp.br

Valério Antonio Pamplona Salomon, salomon@feg.unesp.br

Universidade Estadual Paulista (UNESP), Departamento de Produção, Guaratinguetá, SP, Brasil

\*Received: October, 2008 / Accepted: April, 2009

### ABSTRACT

*Outsourcing is related to the action which an organization deals with its suppliers through a kind of business contract where a specific activity or service has been hired to be made. This research proposed a model which was based in the methods DEA and AHP, and its purpose was to evaluate the efficiency of outsourced companies in the aeronautical industry. It also proposed an evaluation in the relation between the variables of the process and the value obtained for the efficiency. The criteria of Quality, Time and Cost were considered the outputs of the process, and those criteria were quantified by AHP for DEA matrix. The number of technical documents received by those outsourced companies were considered the input of the process. The criteria and its indicators were chosen with a questionnaire which was applied in a group of specialists of spare parts technical publications. The proposal of the model was showed and it was validated by this same group of specialists. The results obtained with the software SIAD were considered satisfactory. The analysis of the relation between the reduction in the number of outputs and the variation in the value of the efficiency was done and it was possible to separate the companies in groups that were considered able to receive an investment to improve their process.*

**Keywords:** Aeronautical Industry. Efficiency. Outsourcing. DEA. AHP.

---